レーザースキャナを用いた

地すべり地形変位観測のための三次元モデリング

高知工科大学　社会システム工学科　　高木方隆
光岡操
○濱田哲伸

1. はじめに

1-1. 地すべりについて

地すべりとは、雨や地下水などの影響により、斜面を構成する地山の内部において力学的なバランスが何らかの原因によって破壊され、地中に発生した破壊面を境としてそれよりも上側に存在する斜面構成物質が重力の作用により連続的または間欠的に比較的緩慢な速度（0.01～10㎜/day 程度）で移動する現象を言う。地すべり地においては、地表に亀裂や段差・隆起や陥没・崩壊などの変状が発生する。

現在地すべりの変位観測には、孔内傾斜計や伸縮計、GPS などを用いて行われている。これらの計測方法は、点の計測であるため、面的にどの部分がよく動いているのか把握することが困難である。レーザースキャナは、高密度で三次元データと取得することができるため、面的な挙動を把握することができると期待されている。しかし、そのデータ量は膨大であり、市販されているソフト（CAD ソフト・CG ソフト・GIS ソフト）では、直接このデータを扱うことは極めて難しい。また計算過程が不明であるためレーザースキャナデータの精度検証には、自作プログラムにより行なうことが必要である。

2. 目的

本研究では、面的な情報を捉えるのに非常に有効的な手段であるレーザースキャナ計測を用い、地すべり地の計測を多時期分行なう。そして、取得したポイントデータより、等高線、断面図、数値標高モデル、サーフェイスモデルを作成し、それぞれのモデルを用いて変位抽出を行なう。その後、変位抽出に適したモデルを選定し、変位抽出アルゴリズムの構築を行なう。また、対象は高知県仁淀村長者地すべり・護岸（図 1：計測対象）とした。

図 1：計測対象

3. 地上型レーザースキャナ

3-1. 概要

地上において使用することを目的としたスキャナタイプのレーザーセンサであり、ノンプリズムタイプの光波測距儀の一種である。レーザースキャナは、一般的な単点タイプの光波測距儀よりも、高速高密度に三次元データを取得可能である。

3-2. 計測原理（図2）

原理は、トータルステーションと類似している。対象物に向かって放射したレーザーパルスが反射して戻ってくるまでの時間により斜距離を計測し、機械を基準とした水平角と垂直角を計測することにより、計測点の三次元座標を求める。しかし、この時点ではレーザースキャナを中心とした三次元座標である。よって、地上座標への座標変換を行なうには、基準点（4点以上）が必要となる。

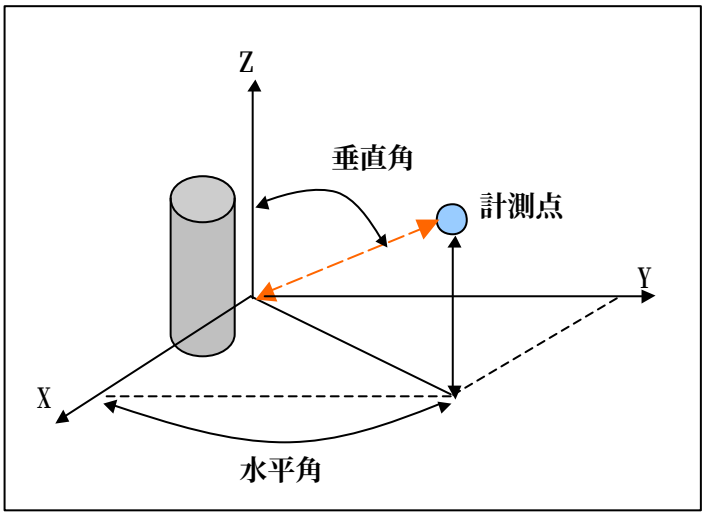

図2：レーザースキャナの計測原理

4. 計測

4-1. 取得データ・使用データ

変位抽出を行なうため、2時期分のデータを取得した。図3-1と図3-2は、取得したデータの反射強度画像で、1～255までを黒～白で表現している。地上座標へ変換するための基準点は、両時期十数点ずつ計測しており、その中から両時期共4点ずつ選定した（図3-1、図3-2）。選定した4点は、最も精度が良くなる組み合わせを選んだものである。この4点を用い、RiSCAN PROにより1時期目は1.2cmの精度で、2時期目は0.9cmの精度で変換のための回転行列を導き出した。2時期での基準点の位置を変更した理由は、レーザースキャナの機動性を重視したかったためであり、基準点の位置を変更してもほぼ同様の精度でデータ取得が可能であることを確かめたかったためである。三次元モデル作成に使用するポイントデータは、取得データの護岸工部分のみ（白線で囲まれた部分）とした。このデータを自作プログラムにより、テキスト化し、その後回転行列の係数を用いて座標変換を行なった。

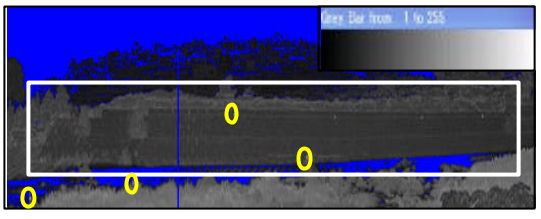

図3-1：1時期目の使用データ範囲と基準点位置（反射強度画像）

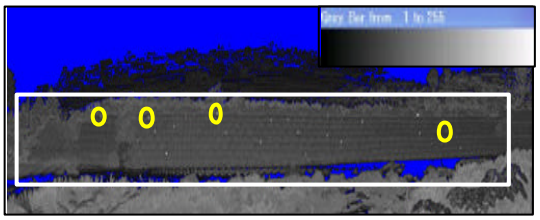

図3-2：2時期目の使用データ範囲と基準点位置（反射強度画像）

5. 等高線

5-1. 等高線とは

等高線は、山や谷などの地形の凹凸を表わすためにZ軸に垂直に切断した面を線で表現したものである。等高線の間隔が狭いところでは、傾きが急で、広いところは傾きが緩やかになる。また、等高線作成間隔を狭めることにより、より詳細な表現ができる。しかし、Z 軸に対して平行な面のある地形(崖など)を完全に表現することはできない。

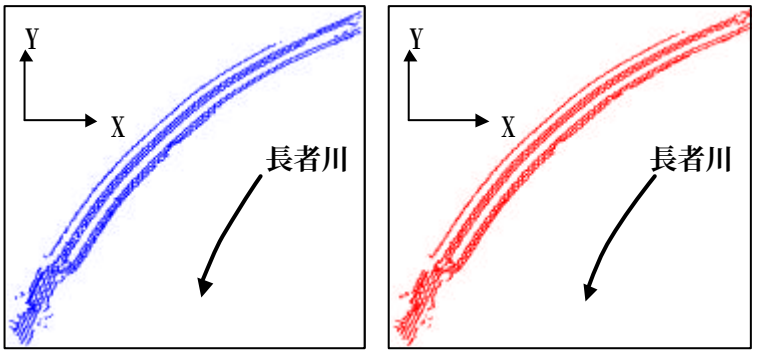

図4-1：作成した等高線（左：1時期目、右：2時期目）

5-2. 変位抽出

変位量抽出は、目視により容易に行なえた。2時期分のデータを重ねたものを図4-2に示す。推定される移動方向とは逆に、概ね8cmの動きが見られた。護岸工のブロックが沈下している箇所についても調べたが、同様の結果であった。

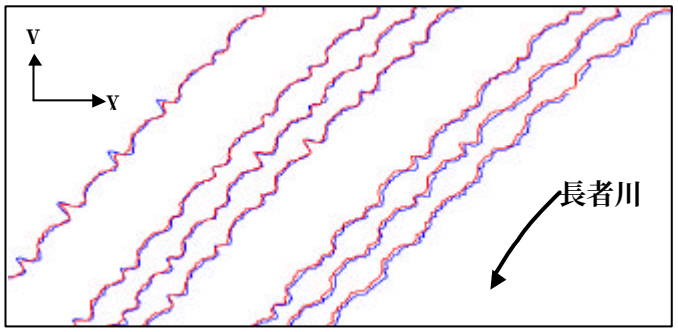

図4-2：2時期分の等高線を重ねたもの

6. 断面図

6-1. 断面図とは

断面図は、Z 軸に平行に切断した面を線で表現したものである。反り返るような崖でも表現することができるため、等高線のみで表現できない地形は、断面図を用いることで表現することができる。

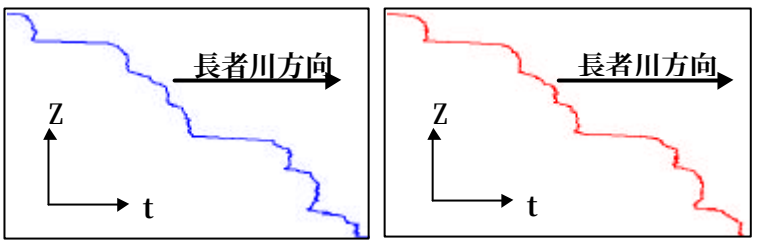

図5-1：作成した断面図（左：1時期目、右：2時期目）

断面図は、等高線とは異なり全ての点を線で結んだ。これは、使用するレーザースキャナデータが1方向のみのデータであるため、標高値の高いものまたは低いものから結んでいけば、不自然になることはないためである。

6-2. 変位抽出

2 時期分のデータを重ねたものを図 5-2 に示す。等高線と同様、推定される移動方向とは逆方向に変位は見られ、概ね 8㎝ であった。また、天場は、1 時期目が下で 2 時期目が上になっている。これは、レーザースキャナでの計測時の設置した高さや傾きによるものだと考えられる。そのため、鉛直方向に対する動きは確認できなかった。

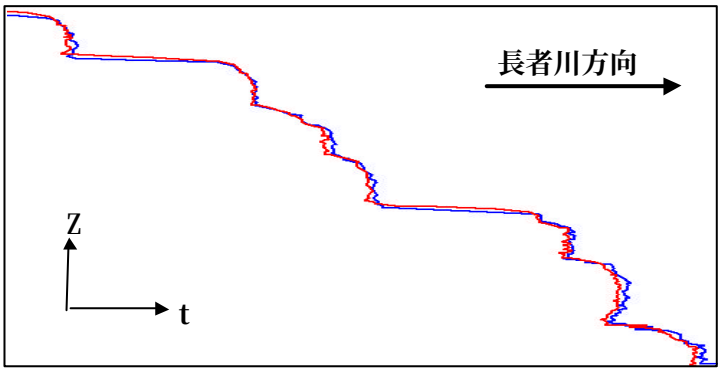

図 5-2：2 時期分の断面図を重ねたもの

7. 数値標高モデル

7-1. 数値標高モデルとは

対象範囲を格子で覆い、格子点毎に地表面の標高値が入力されているものであり、コンピュータで地形を扱う上で一般的なデータである。しかし、オーバーハングなどを表現することはできず、グリッド化する際に値を平均化してしまうため、信頼性は下がる。

図 6-1 は、10㎝ グリッドでの作成結果である。画像の白い部分は、ポイントデータが無かった部分である。作成の結果、天場以外の箇所については、Z 軸に対する形状を表現することができた。

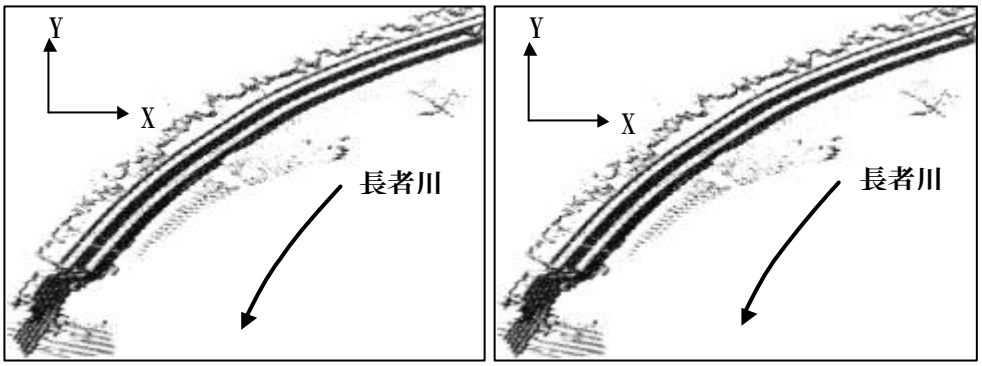

図 6-1：作成した 10㎝ グリッドの数値標高モデル（左：1 時期目、右：2 時期目）

7-2. 変位抽出

レーザースキャナでは、固定しない限り同一点の計測は困難である。そのため、作成するグリッド間隔を小さくすればする程、同じ箇所でも両時期共にデータが存在する箇所は減少する。間違った変位抽出を防ぐため、両時期それぞれが 0 でない場所のみ演算した。図 6-2 は、10㎝ グリッドでの変位抽出結果であり、2

時期目より１時期目を引いたものである。図6-2のように変位は全く見られなかった。空間分解能が低くなったことが原因である。

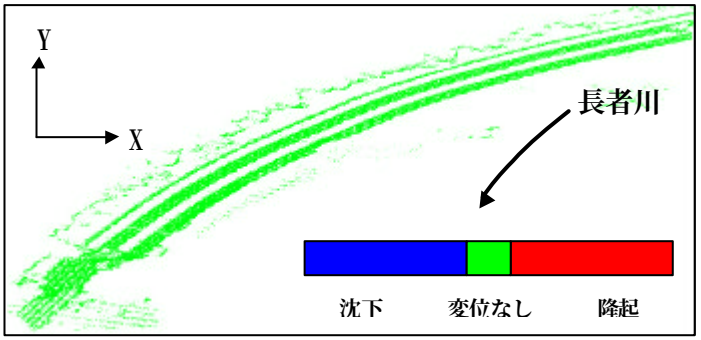

図6-2：10㎝グリッドでの変位抽出結果画像

8. サーフェイスモデル

8-1. サーフェイスモデルとは

多角形の面によって表現したものである。対象物を構成する面毎に色やテクスチャを与えることができるため見かけ上透過せず、ワイヤーフレームモデルなどと比べるとリアルなものを作成することができる。対象物を構成する面の数を増やすことによってリアルさは増す。作成の結果、護岸工のブロックの形状をリアルに表現することができた。しかし、植物のデータを完全に除外することはできなかった。

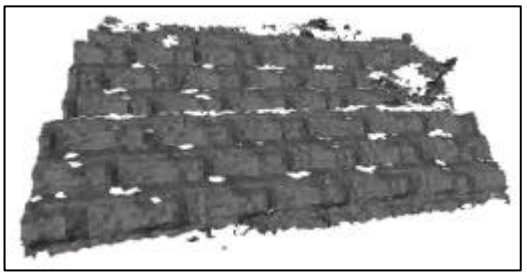

図7-1：作成したサーフェイスモデル（1時期目：約100ライン）

8-2. 変位抽出

サーフェイスモデルを用いた変位抽出は、サーフェイスモデル同士の演算を行い、結果を変位量として用意したグリッドに入力するというものである．図 7-2 はグリッド上でのサーフェイス演算の結果をヒストグラムにした図である。変位は、概ね長者川とは逆方向に見られ、約4㎝変位のものが最も多かった（図 7-2）。

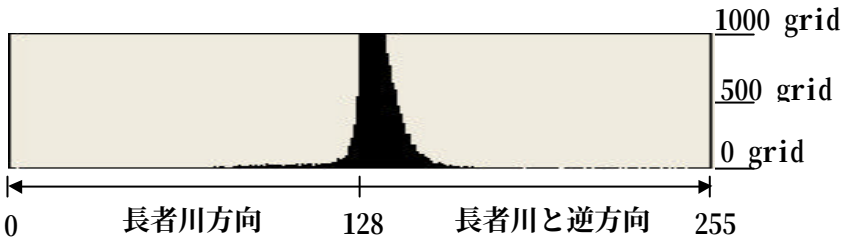

図7-2：グリッド上でのサーフェイス演算の結果のヒストグラム

9. 考察

本研究の目的は、地すべり地形の変位抽出に適した三次元地形モデルを選定し、変位抽出アルゴリズムの構築を行なうことである。しかし、等高線、断面図、数値標高モデル、サーフェイスモデルを用いてモデル作成し、変位抽出を行った結果、モデルそれぞれで異なる利点を持ち合わせていることがわかった。レーザースキャナデータは、ランダムなポイントデータである。そのため、1 時期目と 2 時期目とで同一点の検索は困難である。等高線・断面図の作成時には、最も望ましい点を導き出しているだけである。よって、実際にトータルステーションなどで計測した値と検証をする必要がある。

10. 参考文献

01) 野村努、「デジタル写真測量による三次元地形モデルの自動生成」、高知工科大学大学院 2002 年度修士論文

02) 野村努・高木方隆、「デジタル写真測量による地すべり地の三次元移動追跡への適用可能性」、[287-290P]、日本写真測量学会平成 12 年度秋季学術講演会発表論文集 2000

03) 村井俊治、「空間情報工学」、社団法人日本測量協会

04) 動体計測研究会、「イメージセンシング」、社団法人日本測量協会

05) 高知県土木部防災砂防課、「長者地すべり」

06) リーグルジャパン株式会社、「LMS-Z210 取扱説明書」

07) 小田三千夫・織茂郁・松田健也、「航空機レーザースキャナによる数値標高データの取得」、[3-10P]、空間情報技術の実際、社団法人日本測量協会

08) 赤松幸生・天野正博・今井靖晃・勝木俊雄・瀬戸島政博・高橋正義・福田未来・船橋学、「森林域における航空機レーザースキャナの利用に関する検証」、[11-16P]、空間情報技術の実際、社団法人日本測量協会

09) 中村三友、「航空機レーザースキャナ計測データからの等高線作成処理」、[17-22P]、空間情報技術の実際、社団法人日本測量協会

10) 小野尚哉、「地上型 3D レーザースキャナによる災害地の計測」、[111-119P]、空間情報技術の実際、社団法人日本測量協会

11) 本郷賢兒、「地上型 3D レーザースキャナによる文化財計測」、[120-126P]、空間情報技術の実際、社団法人日本測量協会